

УДК 539.38

Цыбанёв Г.В. д.т.н., Новиков А.И. к.т.н.

Институт проблем прочности имени Г.С. Писаренко НАН Украины, г. Киев, Украина

УРАВНЕНИЕ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ, СВЯЗЫВАЮЩЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ С УСТАЛОСТНЫМ ПОВРЕЖДЕНИЕМ

В расчетах НДС элементов конструкций при переменных нагрузках используют диаграммы циклического деформирования (ДЦД), полученные по стабилизированным значениям неупругих деформаций (НД). Это не позволяет учитывать кинетику НДС, обусловленную изменением НД при увеличении числа циклов нагружения. что сказывается на погрешности расчета долговечности. Для описания ДЦД, учитывающей накопление усталостных повреждений, использована ДЦД на стадии стабилизации деформаций с модифицированной частью, которая отвечает за изменение НД при наработке:

$$\varepsilon_a(\sigma_a, D_\varepsilon) = \varepsilon_e(\sigma_a) + \varepsilon_{ine}(\sigma_a, D_\varepsilon), \quad (1)$$

где $\varepsilon_a(\sigma_a, D_\varepsilon)$, $\varepsilon_e(\sigma_a)$, $\varepsilon_{ine}(\sigma_a, D_\varepsilon)$ – функции, которые описывают амплитуду полной, упругой и неупругой составляющих ДЦД, соответственно.

Полагаем, что изменение размаха НД зависит не только от приложенной амплитуды нагружения, но и от повреждения материала, вызванного наработкой:

$$\varepsilon_{ine}(\sigma_a, D_\varepsilon) = \varepsilon_{ine,s}(\sigma_a) \cdot f(\sigma_a, D_\varepsilon). \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ine,s}(\sigma_a)$ – функция НД от σ_a на стадии их стабилизации; $f(\sigma_a, D_\varepsilon)$ – функция повреждения, которая учитывает изменение НД при наработке. Для описания функции НД на стадии стабилизации, используется пластическая составляющая уравнения Осгуда–Рамберга:

$$\varepsilon_{ine,s}(\sigma_a) = (\sigma_a / K)^{1/m}. \quad (3)$$

где K , m – коэффициенты уравнения диаграммы (3) на стадии стабилизации НД.

На основании проведенного анализа НД принимаем функцию $f(\sigma_a, D_\varepsilon)$ как:

$$f(\sigma_a, D_\varepsilon) = L_0(\sigma_a) + D_\varepsilon \cdot (L_K(\sigma_a) - L_0(\sigma_a)), \quad \text{где функции } L_0(\sigma_a), L_K(\sigma_a) \quad (4)$$

$$L_0(\sigma_a) = L_{0,0} + \frac{L_{0,K} - L_{0,0}}{\sigma_K - \sigma_{-1}} \cdot (\sigma_a - \sigma_{-1}); \quad L_K(\sigma_a) = L_{K,0} + \frac{L_{K,K} - L_{K,0}}{\sigma_K - \sigma_{-1}} \cdot (\sigma_a - \sigma_{-1}), \quad (5)$$

где σ_K – критическое напряжение (по В.С.Ивановой); σ_{-1} – предел выносливости при симметричном цикле; $L_{0,0}$, $L_{0,K}$, $L_{K,0}$, $L_{K,K}$ – значения НД в начальном и конечном состоянии, отнесенные к ее среднему значению при σ_{-1} и σ_K , соответственно.

Используя приведенные зависимости (1)-(5), уравнение ДЦД запишется так:

$$\varepsilon_a(\sigma_a, D_\varepsilon) = \sigma_a / E + (\sigma_a / K)^{1/m} [L_0(\sigma_a) + D_\varepsilon \cdot (L_K(\sigma_a) - L_0(\sigma_a))]. \quad (6)$$

Функцию усталостного повреждения D_ε можно определить, исходя из описанной ранее модели предельного исчерпания циклической пластичности:

$$D_\varepsilon = (\sigma_T - \sigma_{T,0}) (\sigma_{T,cr} - \sigma_{T,0})^{-1}, \quad (7)$$

где σ_T , $\sigma_{T,0}$, $\sigma_{T,cr}$ – текущий, исходный и критический циклические пределы текучести.

Согласно модели [1], критерием предельного состояния материала есть условие $\sigma_T = \sigma_{T,cr}$. В начале нагружения, когда $\sigma_T = \sigma_{T,0}$, функция повреждения равняется 0, при достижении предельного состояния она равняется 1. Таким образом, уравнение (6) представляет аналитическое описание ДЦД, включающее изменения неупругих свойств материала при накоплении усталостного повреждения и может быть использовано при расчете долговечности элементов конструкций в условиях эксплуатационной нагрузки.

Список литературы:

1. Tsyban'ov G.V., Novikov A.I. Ultimate hardening/softening model of material for fatigue crack initiation onset and determination of its parameters// Int. J. of Fatigue. – Vol. 39, 2012. – P. 15-24.